

Atty. Dkt. No. 016790/0398

#4

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Gerhard HOPPEN
Title: DUV-CAPABLE MICROSCOPE
OBJECTIVE WITH PARFOCAL IR
FOCUS

5/ Priority
Doc.
E. Millis
a-a1-01

Appl. No.: 09/598,406

Filing Date: June 21, 2000

Examiner: Unassigned

Art Unit: 2872

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application:

- German Patent Application No. 199 31 949.9 filed July 9, 1999.

Respectfully submitted,

Date September 20, 2000

FOLEY & LARDNER
Washington Harbour
3000 K Street, N.W., Suite 500
Washington, D.C. 20007-5109
Telephone: (202) 672-5414
Facsimile: (202) 672-5399

By

Richard L. Schwaab
Attorney for Applicant
Registration No. 25,479

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 199 31 949.9

Anmeldetag: 09. Juli 1999

Anmelder/Inhaber: Leica Microsystems Wetzlar GmbH,
Wetzlar/DE

Bezeichnung: DUV-taugliches Mikroskop-Objektiv
mit parfokalem IR-Fokus

IPC: G 02 B 21/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.

München, den 06. Juli 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

DUV-taugliches Mikroskop-Objektiv mit parfokalem IR-Fokus

Die Erfindung betrifft ein DUV-taugliches Mikroskop-Objektiv mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Anspruchs 1.

Die Auflösung eines Mikroskops hängt wesentlich von der Wellenlänge des
5 verwendeten Beleuchtungslichts ab. Konventionelle Mikroskope werden mit
Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich (kurz als "VIS" für "visible" bezeichnet)
betrieben. Zur Auflösung extrem kleiner Strukturen, z.B. auf Wafern oder
Schaltungen in der Halbleiterindustrie, ist eine Abbildung bei kürzeren Wellen-
längen im tief-ultravioletten Bereich des Lichtspektrums (kurz als "DUV" für
10 "deep ultraviolet" bezeichnet) erforderlich. Das Mikroskopbild wird dabei mit
einer für das DUV-Licht empfindlichen TV-Kamera sichtbar gemacht.

Die Materialien in konventionellen VIS-Optiken sind im DUV nicht durchlässig.
Daher sind beim DUV-Betrieb aus speziellen Materialien aufgebaute Optiken
wie Prismen, Strahlteiler, Tubuslinsen sowie auch Objektive erforderlich, die für
15 DUV-Wellenlängen korrigiert sind. Um den zukünftigen Anforderungen der
Halbleiter-Industrie zu entsprechen, weist ein DUV-Mikroskop vorzugsweise

Umschaltungsmöglichkeiten zwischen VIS- und DUV-Optiken und der jeweils zugehörigen Beleuchtung auf, bei der auch eine Umschaltung zwischen VIS- und DUV-Objektiven vorgenommen wird.

5 Zusätzlich ist die Autofokus-Funktion eines Mikroskops eine wesentliche Forderung der Halbleiterindustrie, da gegenüber manuellem Fokussieren durch automatisches (und damit schnelleres) Fokussieren die Anzahl der pro Stunde untersuchten Strukturen erheblich gesteigert werden kann.

10 Dabei sind die bekannten IR-Laser-Autofokus-Systeme anderen Autofokus-Systemen (z.B. TV-Autofokus-Systemen), die bei der jeweils abbildenden Wellenlänge arbeiten, wegen ihrer höheren Fokussiergeschwindigkeit deutlich überlegen. Die Autofokus-Wellenlänge ist deshalb in den IR-Wellenlängenbereich verlagert, damit eine störungsfreie Einkopplung des IR-Autofokus-Lichts, z.B. über einen dichroitischen Teiler im Abbildungsstrahlengang, möglich ist. Dies verhindert, daß im VIS- oder DUV/UV-Wellenlängenbereich Anteile
15 des Beleuchtungs- bzw. Abbildungsstrahlengangs verloren gehen.

Es besteht daher ein dringendes Bedürfnis der Halbleiter-Industrie, auch ein DUV-Mikroskop mit einem schnellen IR-Autofokus-System zu betreiben. Für den VIS-Bereich gibt es bereits IR-autofokus-taugliche Objektive, für den DUV-Bereich jedoch noch nicht. Zur Darstellung extrem kleiner Strukturen ist insbesondere ein gut korrigiertes DUV-Objektiv mit einer hohen Vergrößerung und
20 großer Apertur erforderlich.

Die DE 39 15 868 C2 beschreibt ein DUV-Objektiv 100x/0.87 bei einer Brennweite von ca. 1,5 mm und einer numerischen Apertur von 0,87. Es besteht aus mindestens elf Linsen, die eine Frontlinsengruppe und eine hintere Linsengruppe bilden. Die hintere Linsengruppe ist als Schiebeglied ausgebildet. Durch
25 Verschieben des Schiebegliedes ist der Luftabstand zur Frontlinsengruppe verstellbar und dadurch der brauchbare Wellenlängenbereich im DUV und in einem Teil des sichtbaren Spektrums einstellbar. Die Korrektur der sphärischen Aberration des Objektivs ist jedoch beispielsweise bei einer Wellenlänge

von 248 nm, einer gängigen DUV-Beleuchtungswellenlänge, nicht besonders gut. Der größte Nachteil liegt jedoch darin, daß das Objektiv keine parfokale Fokusslage im nahen infraroten Wellenlängenbereich (kurz "IR" genannt), d.h. bei IR-Wellenlängen > 760 nm, besitzt. Damit ist das Objektiv nicht für den Betrieb an einem DUV-Mikroskop mit einer IR-Laser-Autofokus-Vorrichtung geeignet, die mit IR-Wellenlängen arbeitet.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein sehr gut korrigiertes DUV-Objektiv mit einer numerischen Apertur von mindestens 0.80 und einer kurzen Brennweite anzugeben, welches einen parfokalen Fokus im DUV und nahen IR besitzt und somit IR-autofokus-tauglich ist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein DUV-Objektiv, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist. Vorteilhafte Ausführungen des Objektivs sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ein erfindungsgemäßes Objektiv besteht aus einem Linsensystem aus Quarzglas und Flußspat. Es weist einen Fokus in einem Wellenlängenband um eine für die DUV-Beleuchtung ausgewählte DUV-Wellenlänge λ_{DUV} sowie denselben Fokus für eine IR-Wellenlänge λ_{IR} im nahen IR-Bereich auf. Bisher galt es als unmöglich, eine Rechnung für eine solche Fokus-Kombination aufzustellen, weil mit üblichen rechnerischen Ansätzen und gängigen Methoden und Überlegungen der Optikrechnung ein solches sowohl im IR als auch im DUV fokussierendes Objektiv als unrealisierbar galt. Als Kriterium zur Beurteilung der Fokussiereigenschaften werden die sogenannten spektralen Bildortkurven eines Objektivs herangezogen, wobei die Bildortkurve für den paraxialen Bereich und die Bildortkurve für die volle Apertur verglichen werden. Die spektralen Bildortkurven geben die Fokuslagen des Objektivs in Abhängigkeit von der Wellenlänge an.

Überraschenderweise hat sich gezeigt, daß durch eine spezielle Ausbildung des vorletzten Elements eines Objektivs die genannten beiden spektralen Bildortkurven eines Objektivs im gesamten Wellenlängenbereich vom DUV bis zum

IR nahezu zur Deckung gebracht werden können: dieses vorletzte Element ist erfindungsgemäß beidseitig konkav ausgebildet, und sein objektseitiger Außenradius ist deutlich kleiner als der bildseitige Außenradius.

- Die gute Übereinstimmung der beiden Bildortkurven ist ein Anzeichen für eine
- 5 gute Korrektur der sphärischen Aberration. Je nach Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Objektivs ist das vorletzte Element entweder als ein Dublett oder ein Triplet oder als ein Dublett in Kombination mit einer Einzellinse oder nur aus Einzellinsen aufgebaut. Als Materialien können Kombinationen aus Quarzglas und Flußspat oder aus Quarzglas und Lithiumfluorid verwendet
- 10 werden. Dabei erweisen sich bestimmte Materialfolgen als vorteilhaft. So weist in einer vorteilhaften Ausführungsform ein Dublett in Abbildungsrichtung die Materialfolge Quarzglas/ Flußspat bzw. ein Triplet in Abbildungsrichtung die Materialfolge Quarzglas/ Flußspat/ Quarzglas oder Quarzglas/Lithiumfluorid/ Quarzglas auf.
- 15 Durch das erfindungsgemäße Größenverhältnis der Außenradien zueinander wird der bis dahin von den vorhergehenden Linsen bzw. Kittgliedern geringfügig abgelenkte Abbildungsstrahlengang stark gebrochen. Diese Art der Strahlführung verstößt gegen die üblicherweise bei der Optikrechnung verwendete Regel, den Strahlengang mit jedem abbildenden Element stets nur sanft zu verändern.
- 20 So bewirkt ein scharfer Übergang im Strahlengang eine starke Toleranzempfindlichkeit des Objektivs, so daß ein solches Objektiv nur schwierig zu fertigen ist bzw. hohe Anforderungen an die Fertigung stellt.

- Andererseits erwies es sich aber nur mit einem vorletzten Element mit dieser besonderen Formgebung als möglich, sowohl für einen Bereich um eine DUV-
- 25 Wellenlänge λ_{DUV} als auch für eine IR-Wellenlänge λ_{IR} denselben Fokus zu erzielen. Wird in einem erfindungsgemäßen Objektiv das betreffende vorletzte Element mit einer moderaten Formgebung ausgestattet und dadurch der vorher abgelenkte Strahlenverlauf wieder geglättet, so gehen sowohl die gute Korrektur als auch der Fokus für die IR-Wellenlänge λ_{IR} verloren.

Die spektralen Bildortkurven eines erfindungsgemäßen Objektivs weisen bei der gewählten DUV-Wellenlänge λ_{DUV} ein Minimum auf, welches die Fokusslage für diese Wellenlänge λ_{DUV} angibt. Im IR-Wellenlängenbereich hat die Bildortkurve bei der gewünschten IR-Wellenlänge λ_{IR} einen Null-Durchgang. Das
5 heißt, die Fokusslagen der DUV-Wellenlänge λ_{DUV} und der IR-Wellenlänge λ_{IR} sind gleich, d. h. konfokal. Außerdem verlaufen über den Spektralbereich von λ_{DUV} bis λ_{IR} die paraxiale Bildortkurve und die Bildortkurve für die volle Apertur fast deckungsgleich.

Da die spektrale Bildortkurve um ihr Minimum bei λ_{DUV} herum in einem Wellenlängenband $\lambda_{\text{DUV}} \pm \Delta\lambda$, mit $\Delta\lambda = 8 \text{ nm}$ innerhalb der Tiefenschärfe verläuft, kann
10 dieses gesamte DUV-Wellenlängenband zur Abbildung genutzt werden. Dies hat gegenüber einem monochromatischen Fokus im DUV den Vorteil, daß zur Beleuchtung des Mikroskops kein teurer Laser erforderlich ist, sondern eine preiswertere DUV-Spektrallampe mit endlicher Linienbreite ausreicht. Es ist
15 jedoch möglich, jede in die Nähe des DUV-Wellenlängenbandes fallende Laserlinie zu benutzen, weil diese monochromatisch ist und bei monochromatischer Beleuchtung kein Farbfehler in der Abbildung auftritt.

Wird nun eine bestimmte DUV-Wellenlänge für die Berechnung des DUV-Fokus zugrunde gelegt, ist es mit einem erfindungsgemäßen vorletzten Element
20 sogar möglich, für verschiedene IR-Fokuswellenlängen jeweils ein passendes Objektiv aufzubauen. Damit kann für IR-Wellenlängen $\geq 760 \text{ nm}$, also passend zu einer Vielzahl möglicher IR-Laserdioden für einen IR-Laser-Autofokus, ein jeweils passendes, IR-autofokus-taugliches DUV-Objektiv angegeben werden.

25 Die erfindungsgemäßen Objektive weisen kurze Brennweiten von höchstens 1,6 mm, eine große Apertur von mindestens 0,9 und eine gute Korrektur aller Bildfehler auf. Der freie Arbeitsabstand liegt je nach Ausführungsbeispiel ungefähr zwischen 0,19 und 0,22 mm.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen mithilfe der schematischen Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1:** einen Schnitt durch ein erstes erfindungsgemäßes Objektiv mit einem DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$ und einem IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 760 \text{ nm}$;
- 5 **Fig. 2:** einen Schnitt durch ein zweites erfindungsgemäßes Objektiv mit einem DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$ und einem IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 825 \text{ nm}$;
- Fig. 3:** einen Schnitt durch ein drittes erfindungsgemäßes Objektiv mit einem DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$ und einem IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 885 \text{ nm}$;
- 10 **Fig. 4:** einen Schnitt durch ein viertes erfindungsgemäßes Objektiv mit einem DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$ und einem IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 905 \text{ nm}$;
- Fig. 5:** Tabelle 1 mit den Konstruktionsdaten des ersten Objektivs aus **Fig. 1**;
- Fig. 6:** Tabelle 2 mit den Konstruktionsdaten des zweiten Objektivs aus **Fig. 2**;
- Fig. 7:** Tabelle 3 mit den Konstruktionsdaten des dritten Objektivs aus **Fig. 3**;
- Fig. 8:** Tabelle 4 mit den Konstruktionsdaten des vierten Objektivs aus **Fig. 4**;
- 15 **Fig. 9:** die spektralen Bildortkurven des Objektivs aus **Fig. 1**;
- Fig. 10:** die spektralen Bildortkurven des Objektivs aus **Fig. 2**;
- Fig. 11:** die spektralen Bildortkurven des Objektivs aus **Fig. 3**;
- Fig. 12:** die spektralen Bildortkurven des Objektivs aus **Fig. 4**;
- 20 **Fig. 13:** einen Schnitt durch ein mit den Objektiven aus **Fig. 1-4** verwendetes, auf $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$ abgestimmtes Tubuslinsensystem;
- Fig. 14:** Tabelle 5 mit den Konstruktionsdaten des Tubuslinsensystems aus **Fig. 13**;
- Fig. 15:** schematischer Aufbau des Strahlengangs zwischen Objektiv, Tubuslinsensystem und IR-Autofokus;
- 25 **Fig. 16a:** Astigmatismus für das Kompensationssystem, bestehend aus dem Objektiv aus **Fig. 4** und dem Tubuslinsensystem aus **Fig. 13**;
- Fig. 16b:** sphärische Aberration für das Kompensationssystem, bestehend aus dem Objektiv aus **Fig. 4** und dem Tubuslinsensystem aus **Fig. 13**;
- 30 **Fig. 16c:** Abweichung von der Sinusbedingung für das Kompensationssystem, bestehend aus dem Objektiv aus **Fig. 4** und dem Tubuslinsensystem aus **Fig. 13**;

- Fig. 17:** einen Schnitt durch ein fünftes erfindungsgemäßes Objektiv mit einem DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$ und einem IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 780 \text{ nm}$;
- Fig. 18:** einen Schnitt durch ein sechstes erfindungsgemäßes Objektiv mit einem DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$ und einem IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 785 \text{ nm}$;
- Fig. 19:** einen Schnitt durch ein siebentes erfindungsgemäßes Objektiv mit einem DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$ und einem IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 845 \text{ nm}$;
- Fig. 20:** Tabelle 6 mit den Konstruktionsdaten des Objektivs aus **Fig. 17**;
- Fig. 21:** Tabelle 7 mit den Konstruktionsdaten des Objektivs aus **Fig. 18**;
- Fig. 22:** Tabelle 8 mit den Konstruktionsdaten des Objektivs aus **Fig. 19**;
- Fig. 23:** die spektralen Bildortkurven des Objektivs aus **Fig. 17**;
- Fig. 24:** die spektralen Bildortkurven des Objektivs aus **Fig. 18**;
- Fig. 25:** die spektralen Bildortkurven des Objektivs aus **Fig. 19**;
- Fig. 26:** einen Schnitt durch ein mit den Objektiven aus **Fig. 17-19** verwendetes, auf $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$ abgestimmtes Tubuslinsensystem;
- Fig. 27:** Tabelle 9 mit den Konstruktionsdaten des Tubuslinsensystems aus **Fig. 26**.
- Die Objektive in **Fig. 1-4** sind alle für einen DUV-Wellenlängenbereich $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ korrigiert und unterscheiden sich durch die angegebenen IR-Fokus-Wellenlängen. Die Objektive in **Fig. 17-19** sind alle für einen DUV-Wellenlängenbereich $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ korrigiert und unterscheiden sich ebenfalls durch die angegebenen IR-Fokus-Wellenlängen. Die Sehfeldzahlen (SFZ) betragen bei allen Ausführungsbeispielen $\text{SFZ} = 11$. Der freie Arbeitsabstand liegt je nach Ausführungsbeispiel zwischen 0,19 und 0,22 mm.

In Lichtrichtung gesehen haben die angeführten Ausführungsbeispiele prinzipiell folgenden gemeinsamen schematischen Aufbau:

- eine sammelnde Einzellinse L1 aus Quarzglas als Frontlinse,
- eine sammelnde Einzellinse L2 aus Flußspat,
- ein Dublett, bestehend aus einer Zerstreulinse L3 aus Quarzglas und einer Sammellinse L4 aus Flußspat,
- 5 - ein Triplett L5+L6+L7 aus Flußspat/Quarzglas/Flußspat,
- ein Triplett L8+L9+L10 aus Quarzglas/Flußspat/ Quarzglas,
- eine sammelnde Linsengruppe L11 , mit je nach Ausführungsbeispiel unterschiedlichem Aufbau, entweder als Einzellinse L11 oder als Dublett L11a+L11b oder als Einzellinse L11a mit einem nachfolgenden Dublett L11b+L11c;
- 10 - ein erfindungsgemäßes zerstreues vorletztes Element, das beidseits konkav geformt ist und dessen objektseitiger Außenradius deutlich kleiner ist als der bildseitige Außenradius und das je nach Ausführungsbeispiel unterschiedlich aufgebaut sein kann, z.B. als zerstreues Dublett L12a+L12b oder als Triplett L12a+L12b+L12c;
- 15 - ein zerstreues Dublett L13a+L13b , bestehend aus einer Sammellinse L13a aus Quarzglas und einer Zerstreulinse L13b aus Flußspat.

Nachfolgend werden die einzelnen Ausführungsbeispiele und die Varianten zu dem oben angegebenen schematischen Aufbau beschrieben. In den Schnitt-

20 zeichnungen befindet sich ein Objekt 1 im Fokus. Von den Linsen auf einer optischen Achse 11 ist stets L1 eine Frontlinse.

Die Tabellen mit den Konstruktionsdaten und die spektralen Bildortkurven werden bei den Beschreibungen der Beispiele jeweils angegeben. In den Tabellen mit den Konstruktionsdaten bezeichnet die Fläche 1 jeweils die Lage des Ob-

25 jekts 1 im Fokus. Die nachfolgenden Flächen sind fortlaufend durchnummeriert.

Die spektrale Bildortkurve für den paraxialen Bereich ist jeweils als punktierte Linie, die spektrale Bildortkurve für die volle Apertur jeweils als durchgezogene Linie dargestellt. Die Bildortkurven zeigen jeweils ein Minimum bei einer DUV-Wellenlänge λ_{DUV} , das eine Null-Linie definiert, und einen Null-Durchgang bei

30 einer IR-Wellenlänge λ_{IR} . Um das Minimum herum ist innerhalb des Tiefen-

schärfebereichs mit $\lambda_{\text{DUV}} \pm 8 \text{ nm}$ jeweils ein DUV-Wellenlängenband definiert, innerhalb dessen das Objektiv fokussiert. Der Null-Durchgang bezeichnet einen zum DUV-Fokus parfokalen Fokus bei der IR-Wellenlänge λ_{IR} .

Das in **Fig. 1** dargestellte Objektiv 125x/0.90 hat eine Brennweite von 1,60 mm,
5 einen Fokus für eine DUV-Wellenlänge $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen Fokus
für eine IR-Wellenlänge $\lambda_{\text{IR}} = 760 \text{ nm}$. Es weist als sammelnde Linsengruppe
ein Dublett L11a+L11b und als erfindungsgemäßes vorletztes Element ein zer-
streuendes Dublett L12a+L12b auf, welches aus einer Zerstreuungslinse L12a
aus Quarzglas und aus einer Sammellinse L12b aus Flußspat besteht. Es
10 zeichnet sich durch eine längere Brennweite als die anderen Ausführungsbei-
spiele aus. Die Konstruktionsdaten des Objektivs sind in **Fig. 5** und die spektra-
len Bildortkurven in **Fig. 9** angegeben.

Das in **Fig. 2** dargestellte Objektiv 150x/0.90 hat eine Brennweite von 1,33 mm
und einen DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ sowie einen IR-Fokus bei
15 $\lambda_{\text{IR}} = 825 \text{ nm}$. Es weist als sammelnde Linsengruppe eine Einzellinse L11 und
als erfindungsgemäßes vorletztes Element ein zerstreues Triplet
L12a+L12b+L12c aus Quarzglas/Flußspat/Quarzglas auf. Es besitzt eine etwas
größere Verzeichnung als die anderen Ausführungsbeispiele. Die Konstrukti-
onsdaten des Objektivs sind in **Fig. 6** angegeben, die spektralen Bildortkurven
20 in **Fig. 10**.

Das in **Fig. 3** dargestellte Objektiv 150x/0.90 hat eine Brennweite von 1,33 mm,
einen DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen parfokalen Fokus bei ei-
ner IR-Wellenlänge $\lambda_{\text{IR}} = 885 \text{ nm}$. Es weist als sammelnde Linsengruppe eine
Einzellinse L11a und ein Dublett L11b+L11c und ein erfindungsgemäßes zer-
25 streuendes Triplet L12a+L12b+L12c aus Quarzglas/Flußspat/Quarzglas auf.
Das Objektiv ist gut korrigiert und relativ wenig toleranzempfindlich. Die Kon-
struktionsdaten des Objektivs sind in **Fig. 7** angegeben, die spektralen Bildort-
kurven in **Fig. 11**.

Das in **Fig. 4** dargestellte Objektiv 150x/0.90 hat eine Brennweite von 1,33 mm, einen DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen parfokalen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 905 \text{ nm}$. Es weist als sammelnde Linsengruppe eine Einzellinse L11 und ein erfindungsgemäßes zerstreues Triplett L12a+L12b+L12c aus Quarzglas/Flußspat/Quarzglas auf. Das Objektiv zeichnet sich durch eine geringe Verzeichnung aus, ist aber toleranzempfindlicher als die anderen Ausführungsbeispiele. Die Konstruktionsdaten des Objektivs sind in **Fig. 8** angegeben, die spektralen Bildortkurven in **Fig. 12**.

Die beispielhaft genannten Objektive der **Fig. 1-4** sind für einen Unendlich-Strahlengang gerechnet und bilden mit einer Tubuslinse ein Kompensations-system für den DUV-Wellenlängenbereich $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$. **Fig. 13** zeigt einen Schnitt durch das mit den erfindungsgemäßen Objektiven verwendete Tubuslinsensystem. Es besteht aus einer Sammellinse L14 und einem Dublett L15a+L15b. **Fig. 14** zeigt Tabelle 5 mit den zugehörigen Konstruktionsdaten des Tubuslinsensystems aus **Fig. 13**.

Die Kompensation erfolgt stets für das gewählte DUV-Wellenlängenband $\lambda_{\text{DUV}} \pm \Delta\lambda$, jedoch nicht für die jeweilige IR-Wellenlänge, die nicht mit abgebildet wird. Dies verdeutlicht **Fig. 15**. Sie zeigt einen von einem Objekt 1 ausgehenden Abbildungsstrahlengang 2. Auf diesem gelangt das DUV-Beleuchtungslicht durch ein Objektiv 3 zu einem Strahlteiler 4. Dieser Strahlteiler 4 dient als Ein- und Auskoppel-Element für das IR-Licht eines IR-Laser-Autofokus 5. Das von dem IR-Laser-Autofokus 5 über den Autofokusstrahlengang 6 ausgehende IR-Laserlicht wird an dem Strahlteiler 4 zum Objektiv 3 und damit in Richtung des Objekts 1 abgelenkt und kehrt auf umgekehrtem Wege wieder zu dem IR-Laser-Autofokus 5 zurück. Das DUV-Licht geht durch den Strahlteiler 4 und wird durch ein Tubuslinsensystem 7 in eine Zwischenbildebene 8 abgebildet. Dort befindet sich das Target einer DUV-Kamera 9. Da das IR-Licht nicht in die Zwischenbildebene 8 gelangt, muß das Tubuslinsensystem 7 nur für das DUV-Licht korrigiert sein.

Es muß daher für Objektive, die für unterschiedliche DUV-Wellenlängenbänder gerechnet sind, ein jeweils unterschiedliches, für das betreffende DUV-Band kompensierendes Tubuslinsensystem gerechnet werden.


Anhand der **Fig. 15** kann eine weiterreichende Verwendung der Objektive erläutert werden. So kann zwischen dem Strahlteiler 4 und dem IR-Laser-Autofokus 5 eine Offset-Linse 10 eingefügt werden. Mit dieser kann die nutzbare IR-Autofokus-Wellenlänge um einen festen Betrag bis zu ca. ± 20 nm geändert werden. Dadurch existiert um jede IR-Fokuswellenlänge λ_{IR} ein Wellenlängenbereich, in dem noch mit dem IR-Autofokus gearbeitet werden kann. So kann beispielsweise mit einem Objektiv, für das eine IR-Fokus-Wellenlänge $\lambda_{IR} = 825$ nm angegeben ist (vergl. **Fig. 2**), mit einem IR-Autofokus mit einer Laserwellenlänge zwischen 805 nm und 845 nm autofokussiert werden.

Das bedeutet, daß auch das Objektiv aus **Fig. 1** IR-autofokus-tauglich ist. Dieses Objektiv besitzt zwar lediglich einen parfokalen Fokus für eine IR-Wellenlänge $\lambda_{IR} = 760$ nm, was noch nicht ganz dem IR-Bereich zugeordnet wird, weil der IR-Bereich aufgrund einer Normenfestlegung erst bei 780 nm beginnt. Das Objektiv kann aber dennoch durch Verwendung einer Offset-Linse im Autofokus-Strahlengang mit einer Laserwellenlänge zwischen 740 nm und 780 nm und somit auch bei einer IR-Wellenlänge (780 nm) betrieben werden.


Die Breite des mit einem Objektiv nutzbaren IR-Bereichs um die angegebene IR-Fokus-Wellenlänge hängt von der Steilheit der spektralen Bildortkurven im Null-Durchgang bei der IR-Fokus-Wellenlänge ab. Je flacher der Null-Durchgang ist, desto breiter ist der nutzbare IR-Wellenlängenbereich für die Auswahl der Autofokus-Laser. Auf diese Weise kann mit einer relativ geringen Anzahl von Objektiven der für den IR-Autofokusbetrieb interessierende Wellenlängenbereich abgedeckt werden.

Anhand der **Fig. 16a-c** wird beispielhaft die Korrektur des Kompensationssystems - bestehend aus dem Objektiv aus **Fig. 4** und dem Tubuslinsensystem aus **Fig. 13** - jeweils für den korrigierten DUV-Wellenlängenbereich anhand der

mittleren Wellenlänge 248 nm und der beiden um 8 nm beabstandeten Wellenlängen, also für 240 nm und 256 nm, gezeigt. **Fig. 16a** zeigt den Astigmatismus in Abhängigkeit von der Objekthöhe y' (= Abstand eines Objektpunktes von der optischen Achse) in Form der sagittalen Bildschale (durchgezogene Linie) und
5 der meridionalen Bildschale (gestrichelte Linie). **Fig. 16b** zeigt die sphärische Aberration z in Abhängigkeit von der bildseitigen Apertur. **Fig. 16c** zeigt die Abweichung von der Sinusbedingung in Abhängigkeit von der bildseitigen Apertur. Man sieht, daß das Kompensationssystem sehr gut korrigiert ist. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für die anderen Ausführungsbeispiele.

 10 Nachfolgend werden die Objektive in **Fig. 17-19** beschrieben. Sie sind alle für eine DUV-Wellenlängenbereich $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ korrigiert und unterscheiden sich durch die angegebenen IR-Fokus-Wellenlängen.

Das in **Fig. 17** dargestellte Objektiv 150x/0.90 hat eine Brennweite von 1,33 mm, einen DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen parfokalen IR-Fokus
15 bei $\lambda_{\text{IR}} = 780 \text{ nm}$. Im vorderen Teil zeigt es eine Besonderheit: so weist es anstelle der Einzellinse L2 und des Dubletts L3+L4 des weiter oben beschriebenen Schemas ein Triplet L2+L3+L4 Flußspat/Quarzglas/ Flußspat auf. Ferner besitzt das Objektiv als sammelnde Linsengruppe ein Dublett L11a+L11b und als erfindungsgemäßes vorletztes Element ein zerstreues Triplet
20 L12a+L12b+L12c aus Quarzglas/Flußspat/Quarzglas. Das Objektiv zeichnet sich durch eine geringe Verzeichnung aus und ist relativ wenig toleranzempfindlich. Die Konstruktionsdaten des Objektivs sind in **Fig. 20** angegeben, die spektralen Bildortkurven in **Fig. 23**.

 25 Das in **Fig. 18** dargestellte Objektiv 150x/0.90 hat eine Brennweite von 1,33 mm, einen DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen parfokalen IR-Fokus bei einer IR-Wellenlänge $\lambda_{\text{IR}} = 785 \text{ nm}$. Es weist als sammelnde Linsengruppe eine Einzellinse L11a und ein Dublett L11b+L11c und ein erfindungsgemäßes zerstreues Triplet L12a+L12b+L12c aus Quarzglas/Flußspat/ Quarzglas auf. Das Objektiv zeichnet sich durch eine geringe Verzeichnung aus und ist

relativ wenig toleranzempfindlich. Die Konstruktionsdaten des Objektivs sind in **Fig. 21** angegeben, die spektralen Bildortkurven in **Fig. 24**.

Das in **Fig. 19** dargestellte Objektiv 150x/0.90 hat eine Brennweite von 1,33 mm, einen DUV-Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen parfokalen Fokus bei einer IR-Wellenlänge $\lambda_{\text{IR}} = 845 \text{ nm}$. Im vorderen Teil zeigt es wiederum eine Besonderheit: so weist es anstelle der Einzellinse L2 und des Dubletts L3+L4 des weiter oben beschriebenen Schemas ein Triplett L2+L3+L4 Flußspat/Quarzglas/ Flußspat auf. Es weist darüber hinaus als sammelnde Linsengruppe eine Einzellinse L11a und ein Dublett L11b+L11c und als erfindungsgemäßes vorletztes Element ein zerstreues Triplett L12a+L12b+L12c aus Quarzglas/Lithiumfluorid /Quarzglas auf. Durch die Verwendung von Lithiumfluorid anstelle von Flußspat in dem zerstreuen Triplett wird der Farblängsfehler kleiner. Das Objektiv hat daher einen sehr gut korrigierten Farblängsfehler und ist relativ wenig toleranzempfindlich. Die Konstruktionsdaten des Objektivs sind in **Fig. 22** angegeben, die spektralen Bildortkurven in **Fig. 25**.

Die Objektive der **Fig. 17-19** sind ebenfalls für einen Unendlich-Strahlengang gerechnet und bilden mit einer Tubuslinse ein Kompensationssystem für den DUV-Wellenlängenbereich $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$. **Fig. 26** zeigt einen Schnitt durch das mit den erfindungsgemäßen Objektiven aus **Fig. 17-19** verwendete Tubuslinsensystem. Es besteht aus einer Sammellinse L14, einem Dublett L15a+L15b und einem Prisma L16. **Fig. 27** zeigt Tabelle 9 mit den zugehörigen Konstruktionsdaten des Tubuslinsensystems aus **Fig. 26**.

Bezugszeichenliste

- 1 : Objekt
2 : Abbildungsstrahlengang
5 3 : Objektiv
4 : Strahlteiler
5 : IR-Laser-Autofokus
6 : Autofokusstrahlengang
7 : Tubuslinsensystem
10 8 : Zwischenbildebene
9 : DUV-Kamera
10 : Offset-Linse
11 : optische Achse
- 15
- L1 - L13 : Linsen der Objektive in den **Fig. 1-4 u. 17-18**
L14 - L15 : Linsen der Tubuslinsensysteme aus den **Fig. 13 u. 26**
L16 : Prisma des Tubuslinsensystems aus der **Fig. 26**

Ansprüche

1. DUV-geeignetes Mikroskop-Objektiv, das Linsengruppen aus Quarzglas und Flußspat enthält und einen DUV-Fokus bei einer DUV-Wellenlänge $\lambda_{\text{DUV}} \geq 235 \text{ nm}$ sowie eine kurze Brennweite aufweist,
5 **dadurch gekennzeichnet, daß**
- a) der DUV-Fokus einen DUV-Wellenlängenbereich $\lambda_{\text{DUV}} \pm \Delta\lambda$ mit $\Delta\lambda = 8 \text{ nm}$ umfaßt,
- b) das Objektiv (3) zusätzlich einen IR-Fokus für eine IR-Wellenlänge $\lambda_{\text{IR}} \geq 760 \text{ nm}$ bei derselben Fokusslage wie der DUV-Fokus bei λ_{DUV} aufweist,
10
- c) wozu ein vorletztes Element (L12a, L12b, L12c) des Objektivs beidseitig konkav ausgebildet und sein objektseitiger Außenradius deutlich kleiner als sein bildseitiger Außenradius ist.
2. Objektiv (3) nach Anspruch 1,
15 **dadurch gekennzeichnet, daß**
das vorletzte Element ein beidseitig konkaves Dublett (L12a, L12b) ist, das in Abbildungsrichtung die Materialfolge Quarzglas/Flußspat aufweist.
3. Objektiv (3) nach Anspruch 1,
20 **dadurch gekennzeichnet, daß**
das vorletzte Element ein beidseitig konkaves Triplet (L12a, L12b, L12c) ist, das in Abbildungsrichtung die Materialfolge Quarzglas/Flußspat/Quarzglas aufweist.
4. Objektiv (3) nach Anspruch 1,
25 **dadurch gekennzeichnet, daß**
das vorletzte Element ein beidseitig konkaves Triplet (L12a, L12b, L12c) ist, das in Abbildungsrichtung die geänderte Materialfolge Quarzglas/Lithiumfluorid/Quarzglas aufweist.

5. Objektiv (3) nach Anspruch 1,
 dadurch gekennzeichnet, daß
 das vorletzte beidseitig konkave Element aus Einzellinsen (L12a, L12b, L12c) aus Quarzglas und Flußspat aufgebaut ist.

5 6. Objektiv (3) nach Anspruch 2,
 dadurch gekennzeichnet, daß
 das vorletzte beidseitig konkave Element (L12a, L12b, L12c) aus Einzellinsen aus Quarzglas und Lithiumfluorid aufgebaut ist.

10 7. Objektiv (3) nach Anspruch 1,
 dadurch gekennzeichnet, daß
 das Objektiv (3) in Abbildungsrichtung gesehen folgenden schematischen Aufbau besitzt:

- eine sammelnde Einzellinse (L1) aus Quarzglas als Frontlinse,
- eine sammelnde Einzellinse (L2) aus Flußspat,
- 15 – ein Dublett (L3+L4) , bestehend aus einer Zerstreuungslinse (L3) aus Quarzglas und einer Sammellinse (L4) aus Flußspat,
- ein Triplett (L5+L6+L7) aus Flußspat/Quarzglas/Flußspat,
- ein Triplett (L8+L9+L10) aus Quarzglas/Flußspat/ Quarzglas,
- eine sammelnde Linsengruppe (L11, L11a, L11b, L11c),
- 20 – ein zerstreues vorletztes Element (L12, L12a, L12b, L12c), das beidseits konkav geformt ist und dessen objektseitiger Außenradius deutlich kleiner ist als der bildseitige Außenradius,
- und ein zerstreues Dublett (L13a+L13b), bestehend aus einer Sammellinse (L13a) aus Quarzglas und einer Zerstreuungslinse
- 25 (L13b) aus Flußspat.

8. Objektiv (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
die sammelnde Einzellinse (L2) und das Dublett (L3+L4) zu einem Triplet
(L2+L3+L4) mit der Materialfolge Flußspat/Quarzglas/Flußspat vereinigt
5 sind.
9. Objektiv (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ oder in einem DUV-Wellenlängenbereich
10 $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ aufweist.
10. Objektiv (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 760 \text{ nm}$
15 und die in der Tabelle 1 aufgelisteten Daten besitzt.
11. Objektiv (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 825 \text{ nm}$ und die in der
20 Tabelle 2 aufgelisteten Daten besitzt.
12. Objektiv (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 885 \text{ nm}$ und die in der
25 Tabelle 3 aufgelisteten Daten besitzt.

13. Objektiv (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 905 \text{ nm}$ und die in der
5 Tabelle 4 aufgelisteten Daten besitzt.

14. Objektiv (3) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 780 \text{ nm}$ und die in der
10 Tabelle 6 aufgelisteten Daten besitzt.

15. Objektiv (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 785 \text{ nm}$ und die in der
15 Tabelle 7 aufgelisteten Daten besitzt.

16. Objektiv (3) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen DUV-Fokus in einem DUV-Wellenlängenbereich
 $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm} \pm 8 \text{ nm}$ und einen IR-Fokus bei $\lambda_{\text{IR}} = 845 \text{ nm}$ und die in der
20 Tabelle 8 aufgelisteten Daten besitzt.

17. Objektiv (3) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß
der IR-Fokus zwischen 760 nm und 920 nm liegt.

18. Objektiv (3) nach Anspruch 1,
25 **dadurch gekennzeichnet, daß**
der DUV-Fokus zwischen 200 nm und 300 nm liegt.

Zusammenfassung

Ein DUV-geeignetes Trocken-Objektiv für Mikroskope besteht aus Linsengruppen aus Quarzglas, Flußspat und teilweise auch Lithiumfluorid. Es besitzt einen DUV-Fokus für ein Wellenlängenband $\lambda_{\text{DUV}} \pm \Delta\lambda$, mit $\Delta\lambda = 8 \text{ nm}$ und zusätzlich
5 einen parfokalen IR-Fokus für eine IR-Wellenlänge λ_{IR} mit $760 \text{ nm} \leq \lambda_{\text{IR}} \leq 920 \text{ nm}$. Dazu ist das vorletzte Element beidseitig konkav ausgebildet und sein objektseitiger Außenradius deutlich kleiner als der bildseitige Außenradius. Das DUV-Objektiv ist IR-autofokus-tauglich.

(Fig. 1)

1 / 27

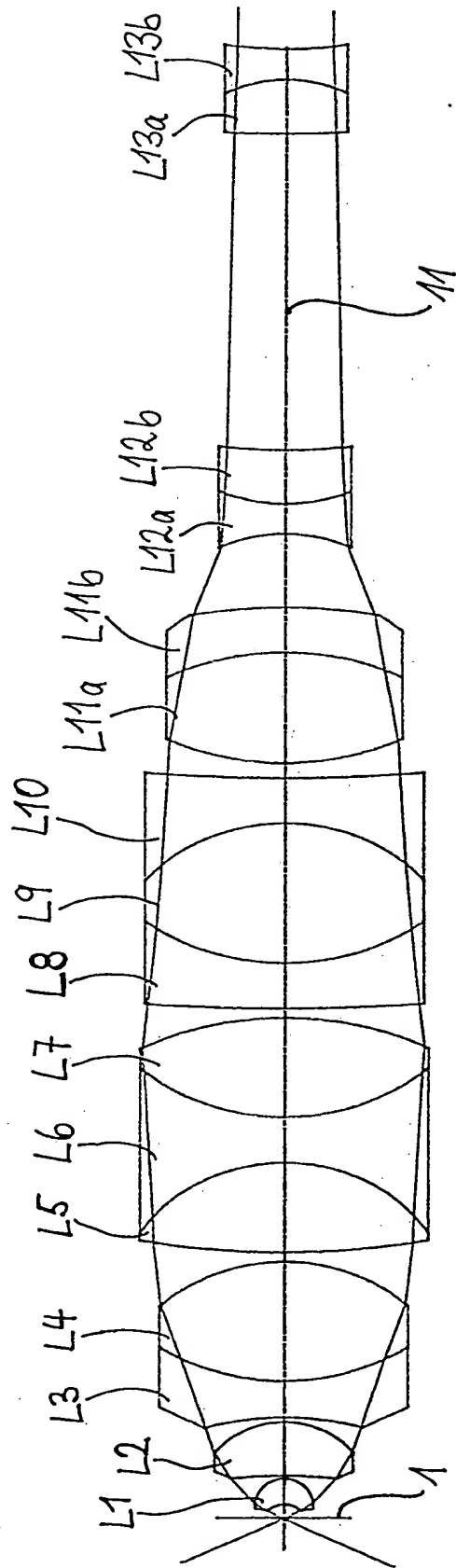


Fig. 1

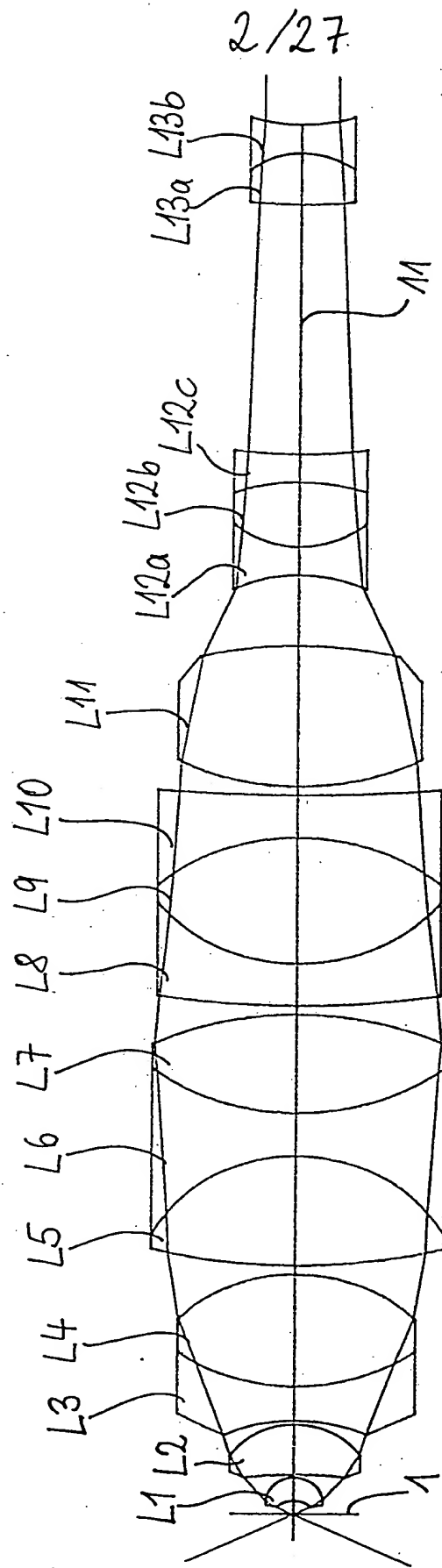


Fig. 2

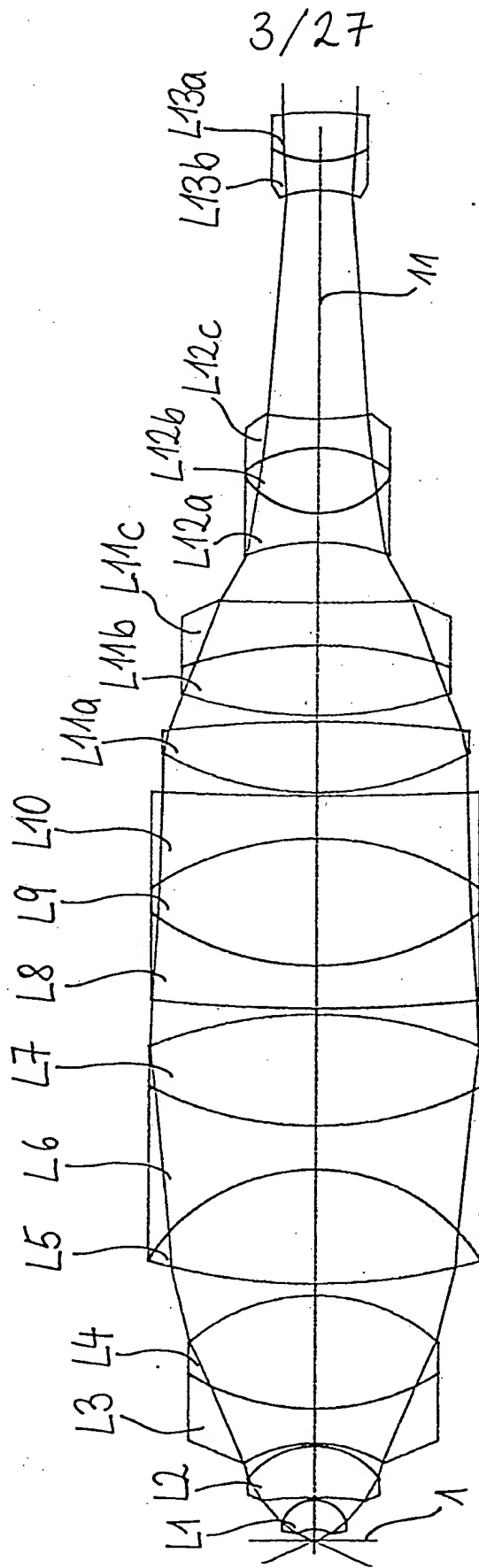


Fig. 3

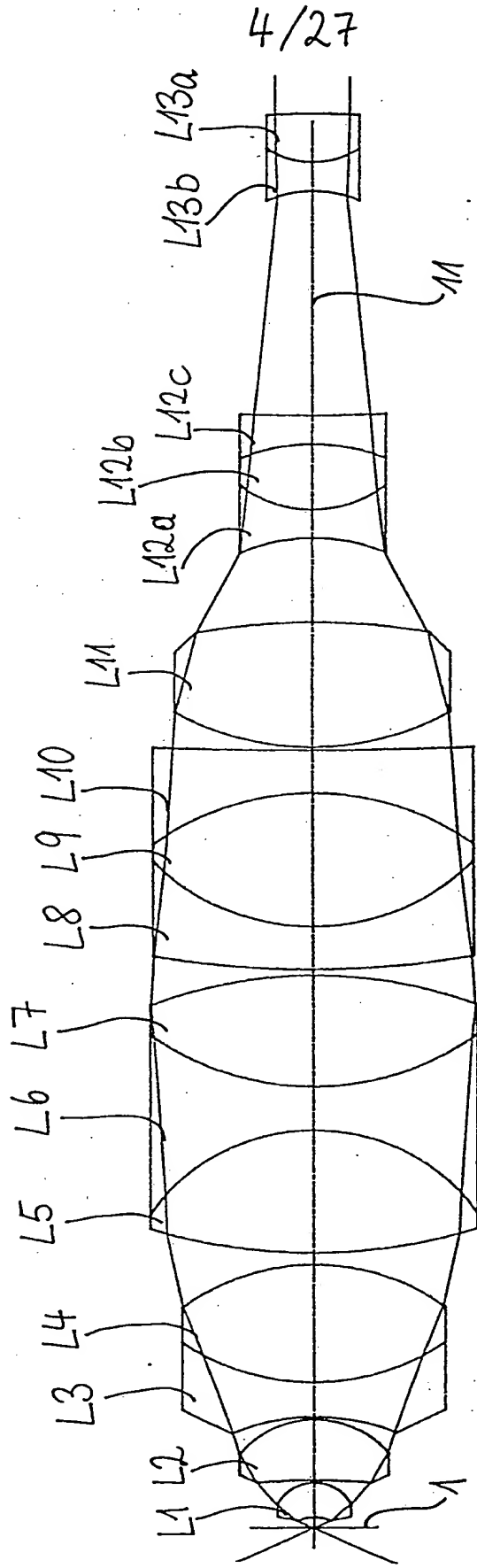


Fig. 4

5/27

Tabelle 1:

Objektiv 125x/0.90 aus Fig. 1; Brennweite $f = 1.6 \text{ mm}$;
parfokaler Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{IR}} = 760 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	Planfläche	.4424	
2	-.7759	.8568	Quarzglas
3	-.9149	.1000	
4	-14.1404	1.7790	CaF ₂
5	-2.6823	.1500	
6	-8.4514	1.2000	Quarzglas
7	6.6947	4.0000	CaF ₂
8	-5.4651	.3000	
9	23.3873	3.0000	CaF ₂
10	-5.2007	1.5000	Quarzglas
11	6.5944	3.3000	CaF ₂
12	-9.8177	.3000	
13	55.5878	1.5000	Quarzglas
14	6.9453	4.7000	CaF ₂
15	-5.5509	1.5000	Quarzglas
16	46.0867	.5000	
17	8.0439	3.6991	CaF ₂
18	-7.9818	1.5000	Quarzglas
19	-15.3526	2.4491	
20	-4.5852	1.0000	Quarzglas
21	4.9685	1.8000	CaF ₂
22	17.1649	10.5044	
23	35.5703	1.8000	Quarzglas
24	-3.9748	1.0000	CaF ₂
25	11.7442		

Fig. 5

6127

Tabelle 2:

Objektiv 150x/0.90 aus Fig. 2; Brennweite $f = 1.33 \text{ mm}$;
parfokaler Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{IR}} = 825 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	Planfläche	.4715	
2	-.7980	.8200	Quarzglas
3	-.9220	.1000	
4	-13.2322	1.7655	CaF ₂
5	-2.5295	.1300	
6	-5.4990	1.2000	Quarzglas
7	6.4887	4.0000	CaF ₂
8	-5.4508	.3000	
9	19.0418	3.9000	CaF ₂
10	-5.4344	1.5000	Quarzglas
11	7.8911	3.5000	CaF ₂
12	-11.1917	.3000	
13	28.4123	1.5000	Quarzglas
14	5.9362	4.5000	CaF ₂
15	-7.1436	1.5000	Quarzglas
16	53.0171	.3000	
17	8.6308	5.0000	CaF ₂
18	-13.7614	2.5134	
19	-4.8385	1.0000	Quarzglas
20	3.2133	2.3000	CaF ₂
21	-6.5982	1.0000	Quarzglas
22	15.8712	8.7871	
23	16.0258	1.8000	Quarzglas
24	-2.7600	1.0000	CaF ₂
25	5.6344		

Fig. 6

7/27

Tabelle 3:

Objektiv 150x/0.90 aus Fig. 3; Brennweite $f = 1.33 \text{ mm}$;
parfokaler Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{IR}} = 885 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	Planfläche	.3978	
2	-1.0391	1.0168	Quarzglas
3	-1.0795	.1000	
4	-12.0535	1.7830	CaF ₂
5	-2.5872	.1000	
6	-4.1758	1.2000	Quarzglas
7	7.1597	4.0100	CaF ₂
8	-5.7651	.4000	
9	18.3192	4.0100	CaF ₂
10	-6.0823	1.5000	Quarzglas
11	11.0395	3.9100	CaF ₂
12	-13.2977	.2000	
13	45.5404	1.5000	Quarzglas
14	8.4487	4.5200	CaF ₂
15	-8.8498	1.5000	Quarzglas
16	97.3172	.1000	
17	9.4897	2.5000	CaF ₂
18	-36.7659	.2000	
19	12.4177	2.5000	CaF ₂
20	-12.5815	1.5000	Quarzglas
21	70.4961	2.1332	
22	-6.0761	1.0000	Quarzglas
23	2.8129	2.3200	CaF ₂
24	-3.8598	1.0000	Quarzglas
25	8.5312	8.0000	
26	-3.4258	1.0100	CaF ₂
27	3.0950	1.7000	Quarzglas
28	-9.3744		

Fig. 7

8/27

Tabelle 4:

Objektiv 150x/0.90 aus Fig. 4; Brennweite $f = 1.33 \text{ mm}$;
parfokaler Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{IR}} = 905 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	Planfläche	.3616	
2	-1.3020	1.2200	Quarzglas
3	-1.3020	.1000	
4	-17.6430	2.1000	CaF ₂
5	-3.0030	.1000	
6	-6.5030	1.2000	Quarzglas
7	6.8830	4.1600	CaF ₂
8	-6.6690	.4000	
9	16.0110	4.3100	CaF ₂
10	-6.0840	1.5000	Quarzglas
11	8.3030	3.9100	CaF ₂
12	-13.4630	.2000	
13	27.1870	1.5000	Quarzglas
14	6.7340	4.7200	CaF ₂
15	-8.1590	1.5000	Quarzglas
16	124.0130	.1000	
17	8.4150	4.4000	CaF ₂
18	-19.5190	2.9750	
19	-5.5020	1.0000	Quarzglas
20	3.5790	2.3200	CaF ₂
21	-5.7860	1.0000	Quarzglas
22	57.9860	7.8000	
23	-3.5800	1.0100	CaF ₂
24	2.5570	1.7000	Quarzglas
25	-17.9020		

Fig. 8

9/27

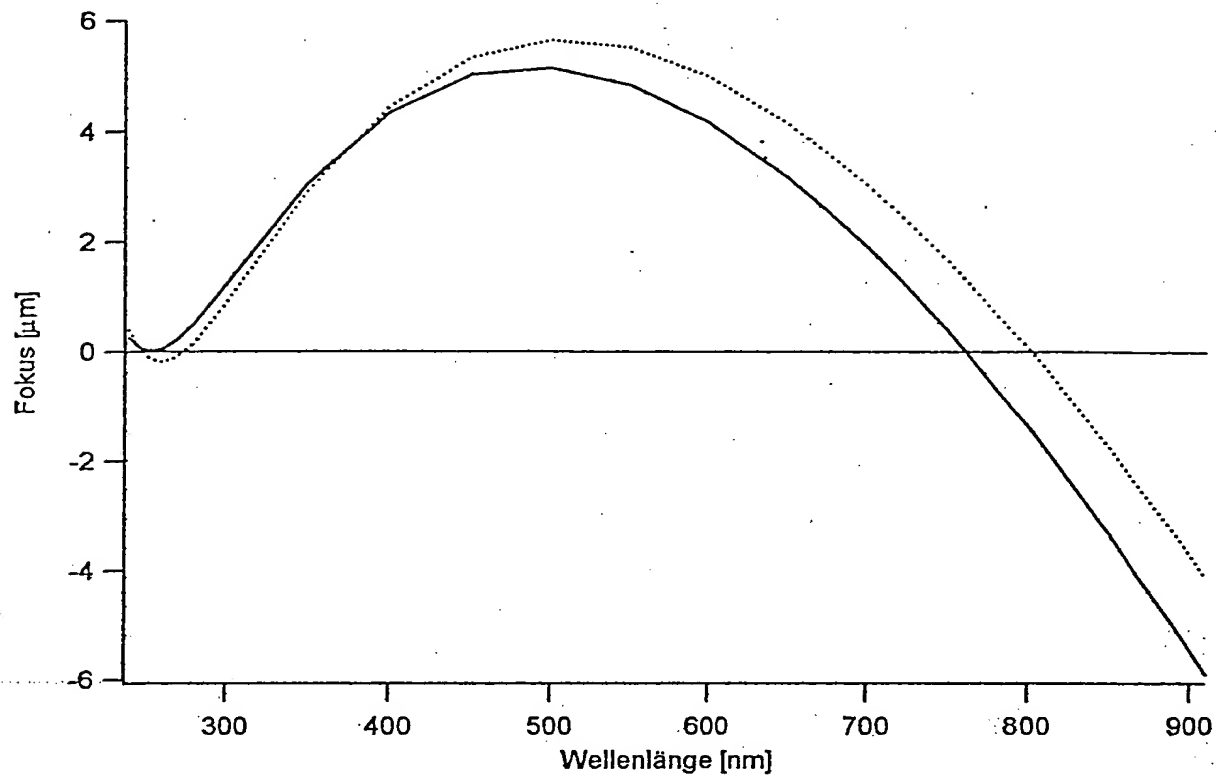


Fig. 9

10/27

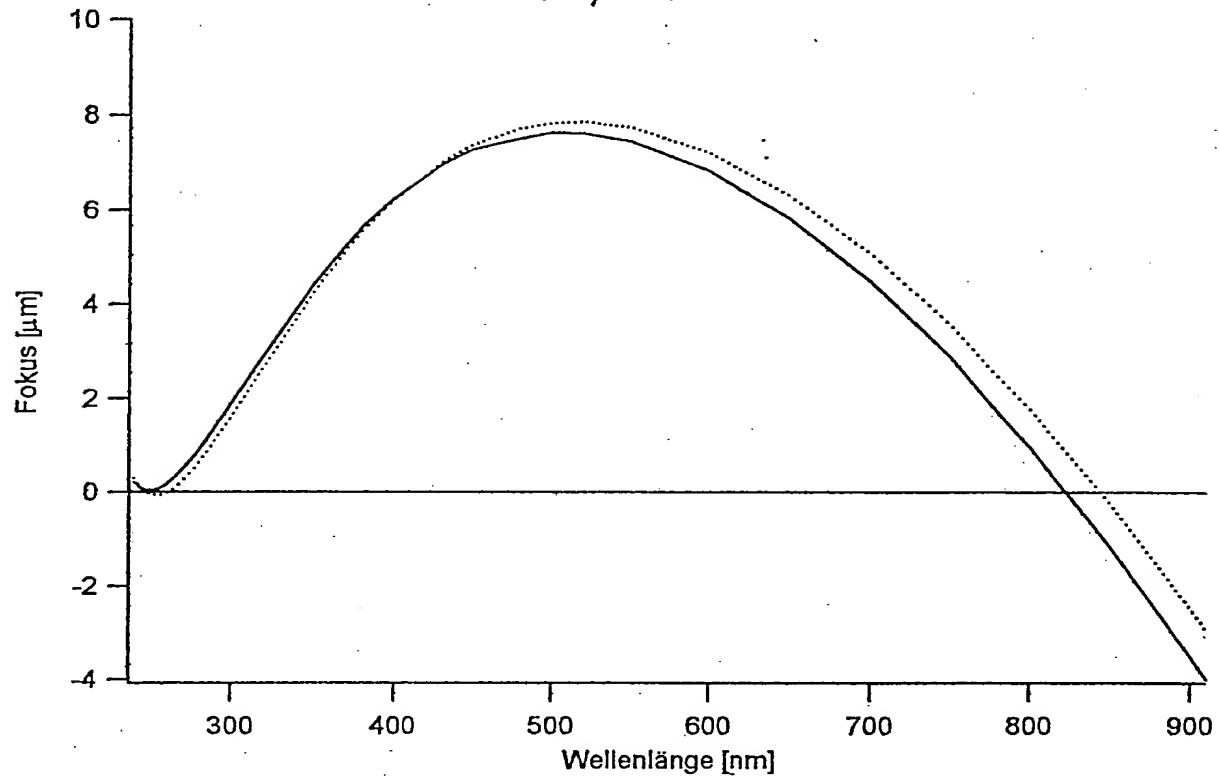


Fig. 10

11/27

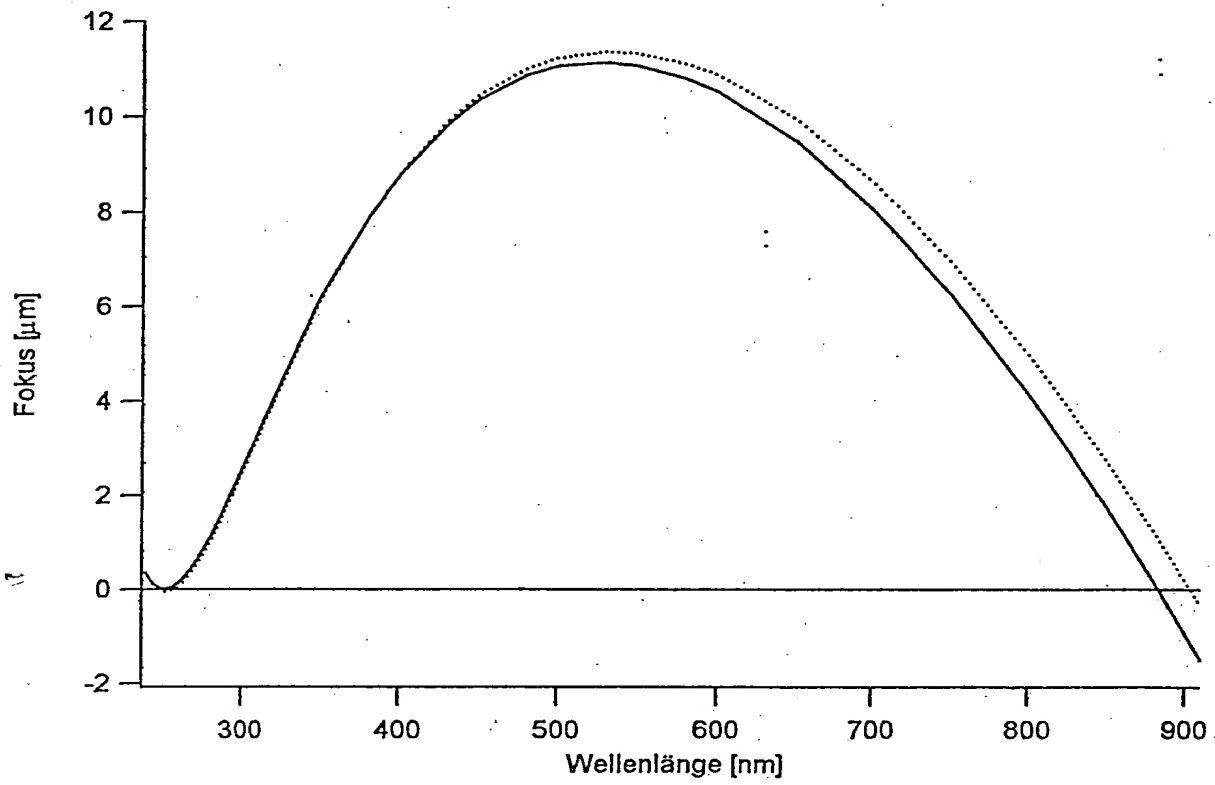


Fig. 11

12/27

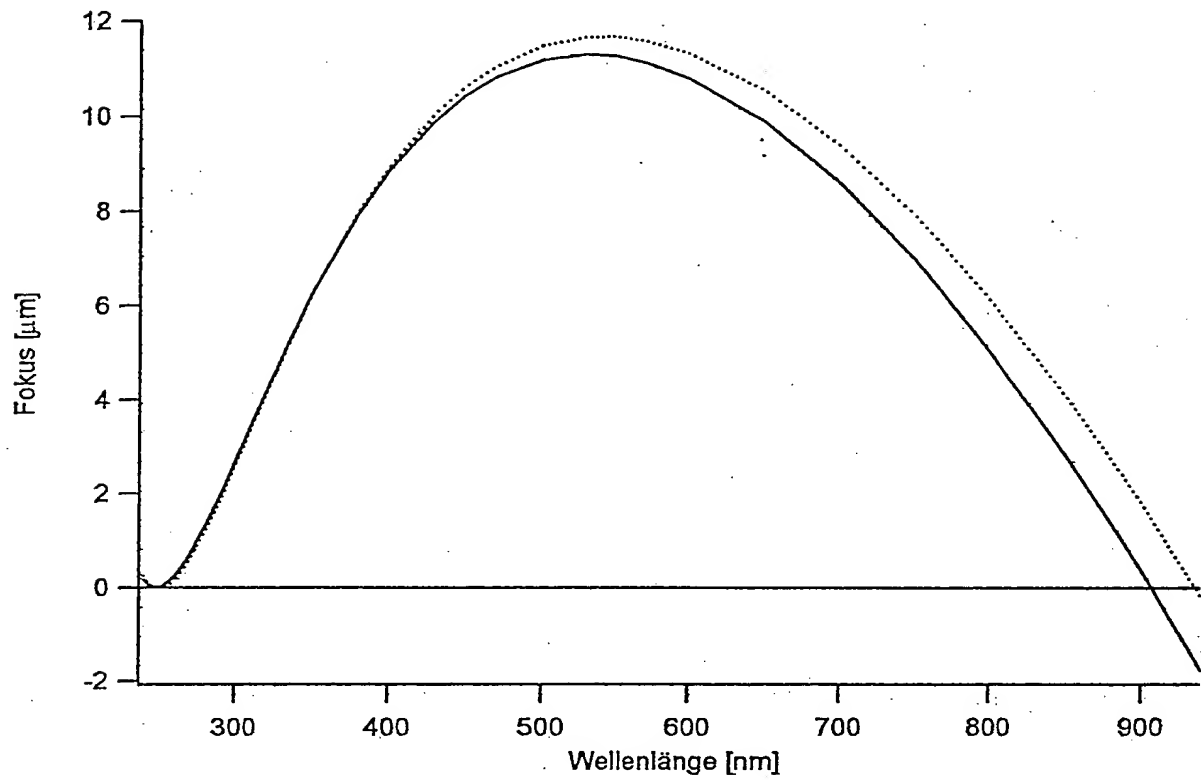


Fig. 12

13/27

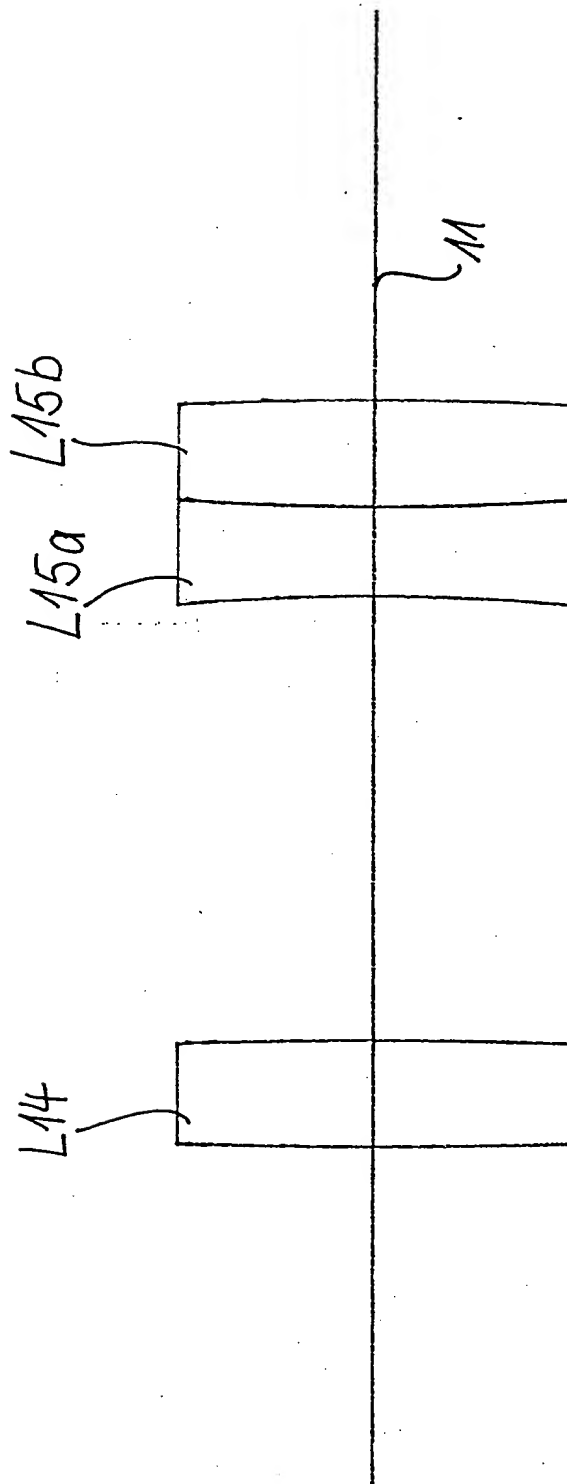


Fig. 13

14/27

Tabelle 5:

Tubuslinse mit Brennweite $f = 200 \text{ mm}$, kompensiert bezüglich $\lambda_{\text{DUV}} = 248 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	135.2310	3.0000	Quarzglas
2	-135.2310	12.4700	
3	-52.0050	2.5000	CaF ₂
4	63.5370	3.0000	Quarzglas
5	-91.1040	180.0000	
6	Planfläche		

Fig. 14

15/27

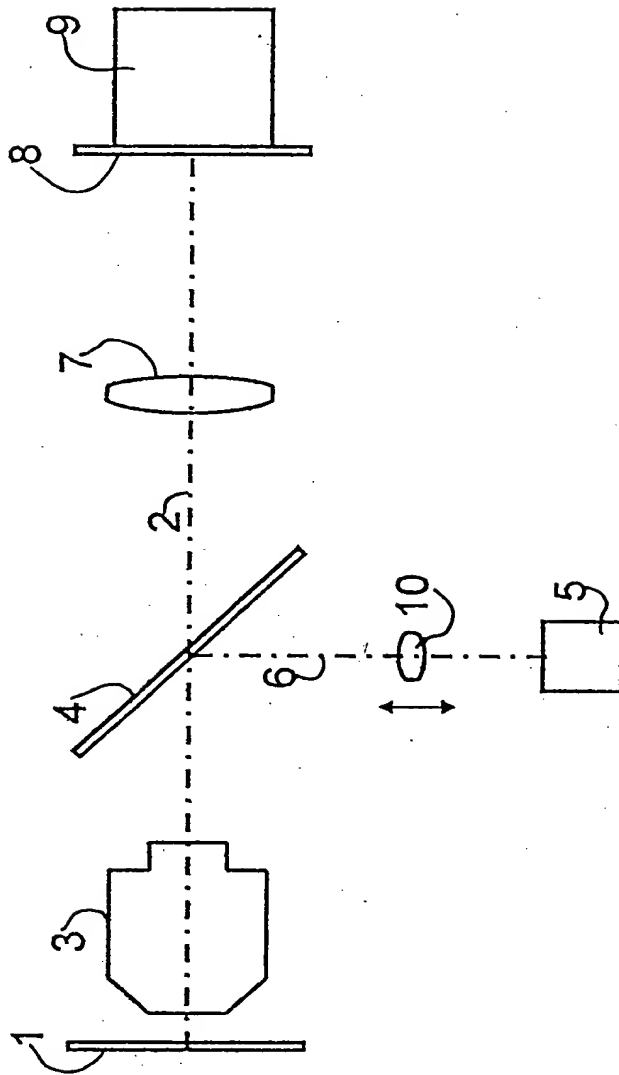
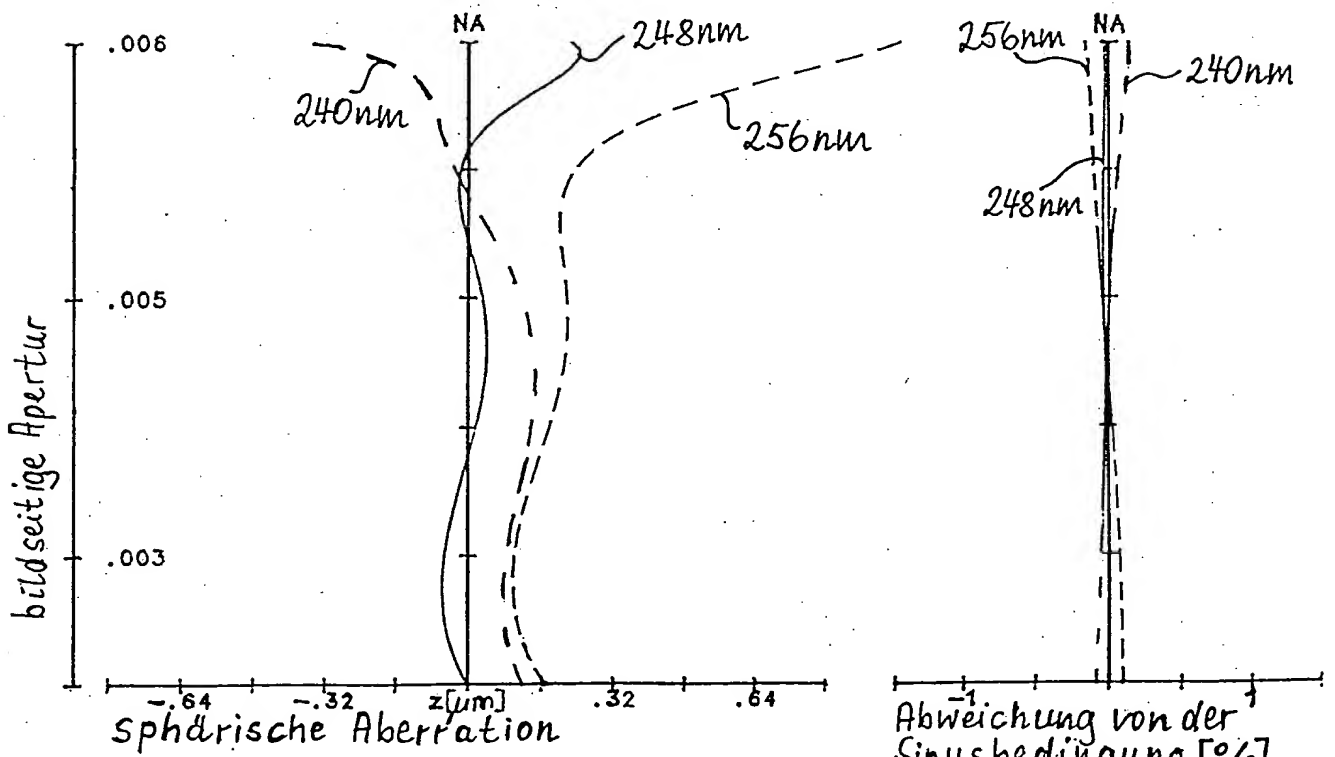
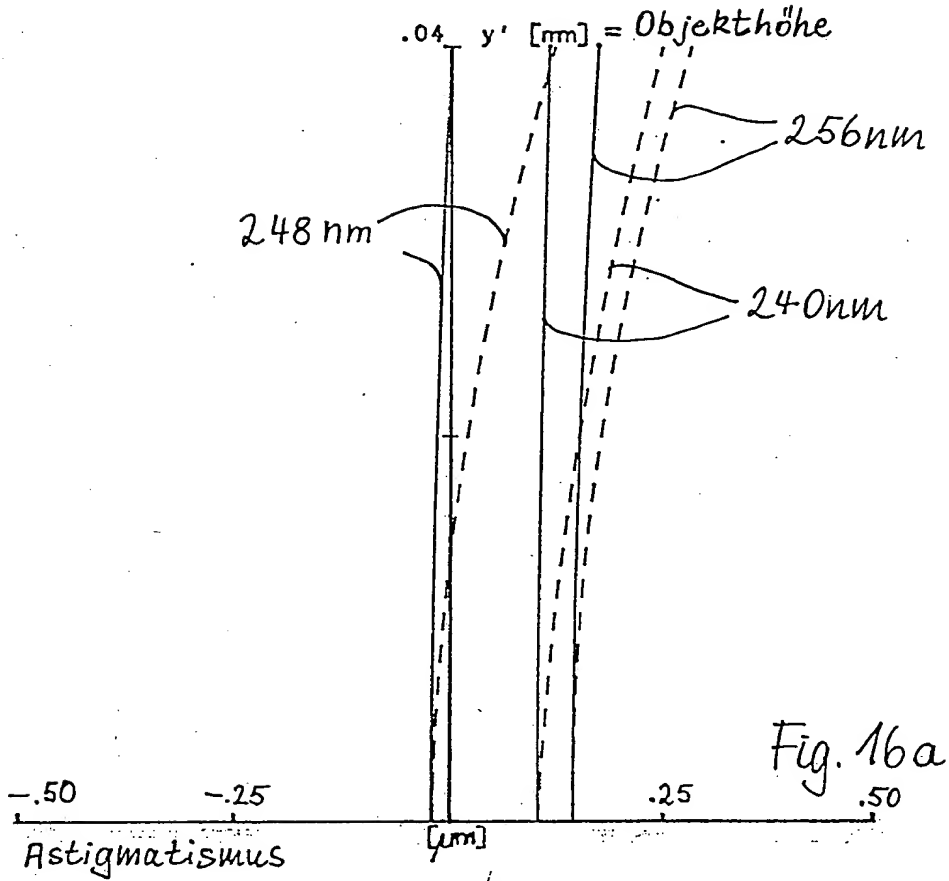


Fig. 15

16/27



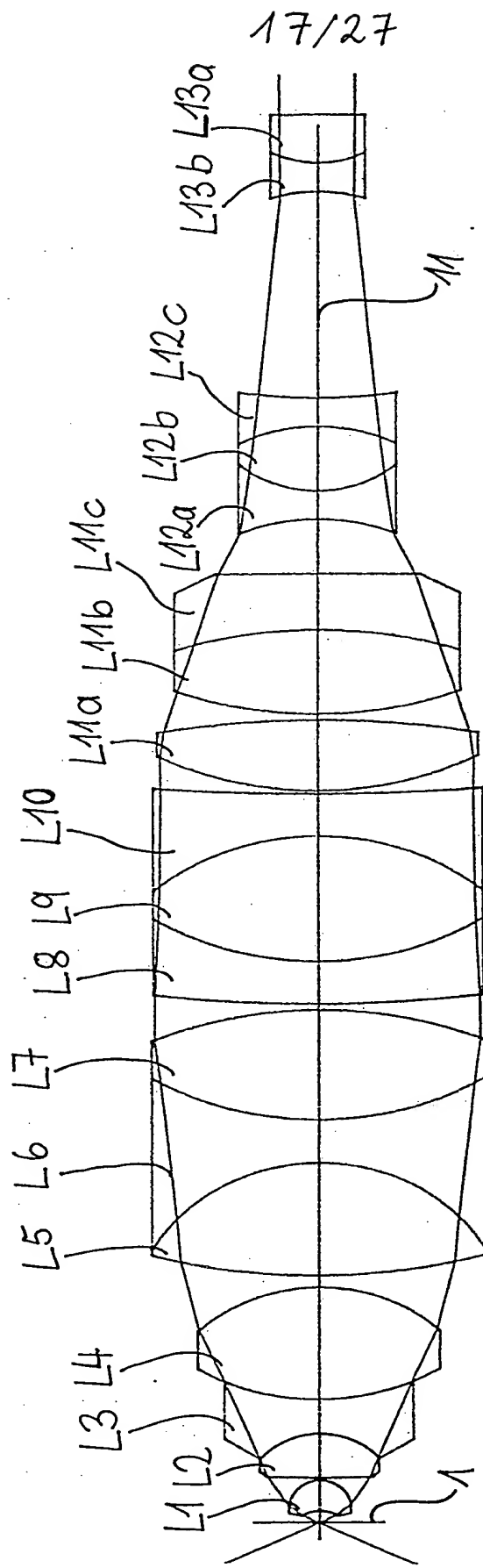


Fig. 17

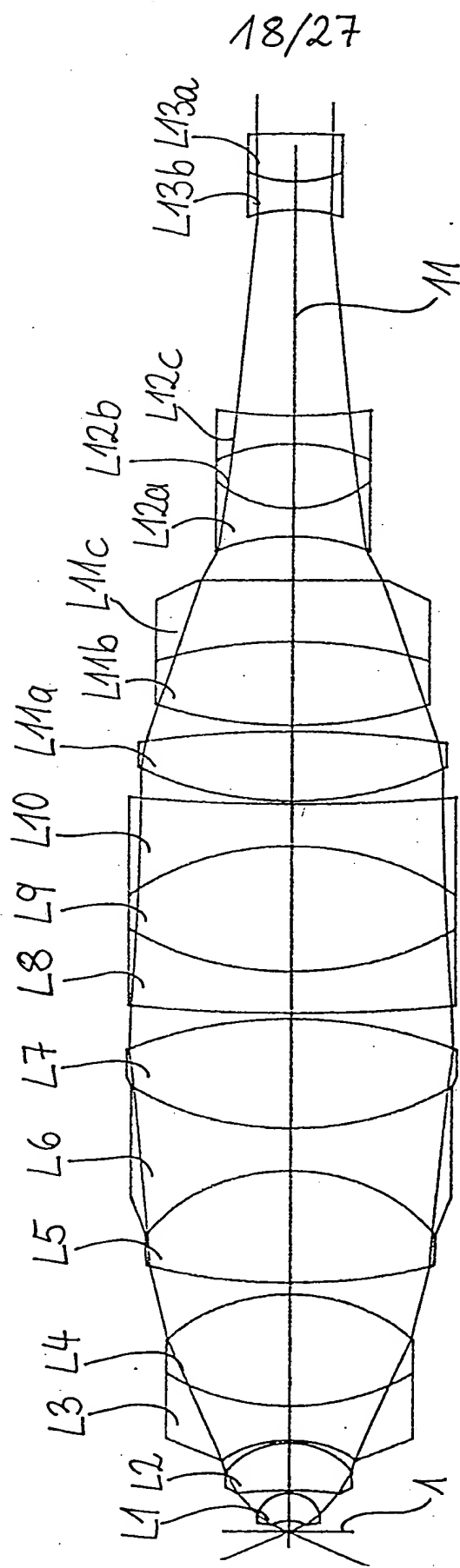


Fig. 18

19/27

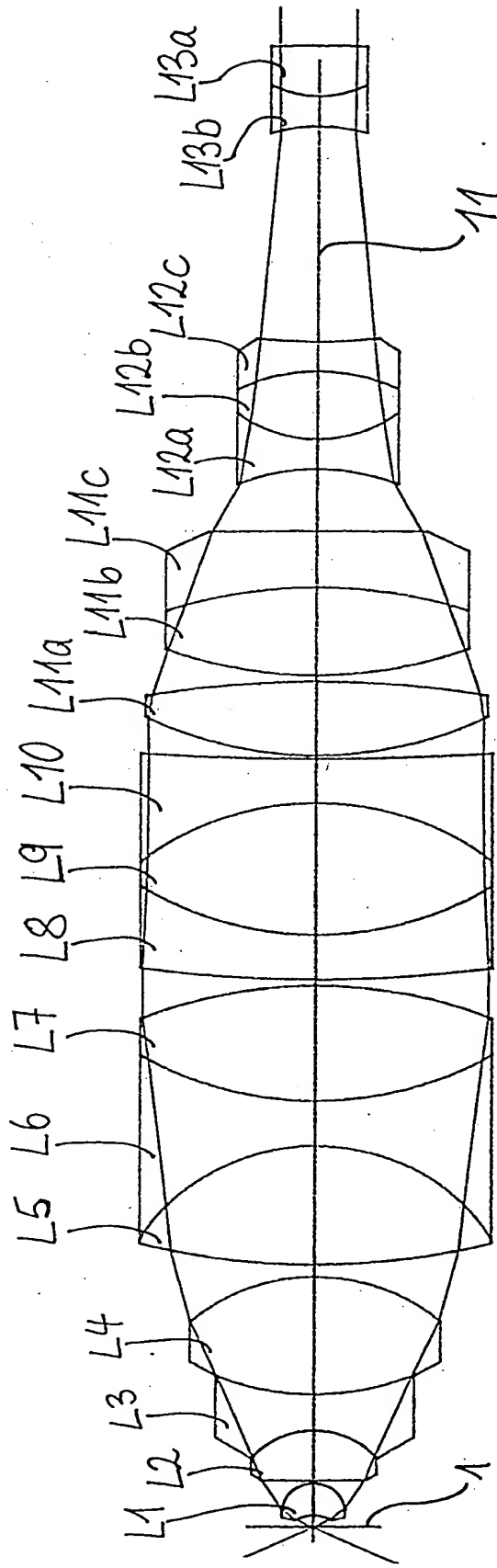


Fig. 19

20/27

Tabelle 6:

Objektiv 150x/0.90 aus Fig. 17; Brennweite $f = 1.33 \text{ mm}$;
parfokaler Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{IR}} = 780 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	Planfläche	.4004	
2	-1.1202	1.0852	Quarzglas
3	-1.0087	.1000	
4	49.3954	1.5523	CaF ₂
5	-2.4823	1.2000	Quarzglas
6	7.3997	4.0000	CaF ₂
7	-5.5523	.4000	
8	19.0870	4.0000	CaF ₂
9	-6.1526	1.5000	Quarzglas
10	10.1480	3.9000	CaF ₂
11	-13.4739	.2000	
12	40.8014	1.5000	Quarzglas
13	9.6623	4.5000	CaF ₂
14	-8.0263	1.5000	Quarzglas
15	67.3707	.1000	
16	11.0979	2.5000	CaF ₂
17	-29.5998	.2000	
18	12.8003	3.0000	CaF ₂
19	-14.4505	2.0000	Quarzglas
20	-731.5254	1.9420	
21	-6.2505	1.0000	Quarzglas
22	3.7350	2.3000	CaF ₂
23	-5.4666	1.0000	Quarzglas
24	16.8497	7.2445	
25	-4.7127	1.0000	CaF ₂
26	3.2030	1.7000	Quarzglas
27	-76.4922		

Fig. 20

21/27

Tabelle 7:

Objektiv 150x/0.90 aus Fig. 18; Brennweite $f = 1.33 \text{ mm}$;
parfokaler Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{IR}} = 785 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	Planfläche	.3913	
2	-1.0196	.9862	Quarzglas
3	-1.0164	.1000	
4	-13.2444	1.6752	CaF ₂
5	-2.4758	.1000	
6	-3.5785	1.2000	Quarzglas
7	7.1241	4.0100	CaF ₂
8	-5.5472	.4000	
9	17.3980	4.0100	CaF ₂
10	-5.8544	1.5000	Quarzglas
11	9.6704	3.9100	CaF ₂
12	-13.1275	.2000	
13	48.8685	1.5000	Quarzglas
14	9.6857	4.5200	CaF ₂
15	-8.6827	1.5000	Quarzglas
16	54.4105	.1000	
17	10.6335	2.5000	CaF ₂
18	-29.6393	.2000	
19	13.2319	3.0000	CaF ₂
20	-14.2067	2.2117	Quarzglas
21	-767.1858	1.5628	
22	-6.0019	1.0000	Quarzglas
23	3.5393	2.3200	CaF ₂
24	-5.3970	1.0000	Quarzglas
25	14.9886	7.3016	
26	-4.5195	1.0100	CaF ₂
27	3.4871	1.7000	Quarzglas
28	-31.4479		

Fig. 21

22/27

Tabelle 8:

Objektiv 150x/0.90 aus Fig. 19; Brennweite $f = 1.33 \text{ mm}$;
parfokaler Fokus bei $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{IR}} = 845 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	Planfläche	.3853	
2	-1.1597	1.0912	Quarzglas
3	-1.0066	.1000	
4	153.0501	1.6852	CaF ₂
5	-2.4795	1.2000	Quarzglas
6	7.5483	4.0000	CaF ₂
7	-5.6057	.4000	
8	20.5139	4.0000	CaF ₂
9	-6.2094	1.5000	Quarzglas
10	10.1688	3.9000	CaF ₂
11	-13.5130	.2000	
12	37.7683	1.5000	Quarzglas
13	9.5611	4.5000	CaF ₂
14	-8.2853	1.5000	Quarzglas
15	79.4258	.1000	
16	11.1475	2.5000	CaF ₂
17	-29.0722	.2000	
18	12.4744	3.0000	CaF ₂
19	-13.8729	1.9205	Quarzglas
20	-380.5331	2.1110	
21	-6.3024	1.0000	Quarzglas
22	3.8900	2.3000	LiF
23	-5.5040	1.0000	Quarzglas
24	18.3383	7.2255	
25	-4.7881	1.0000	CaF ₂
26	3.1827	1.7000	Quarzglas
27	-45.2603		

Fig. 22

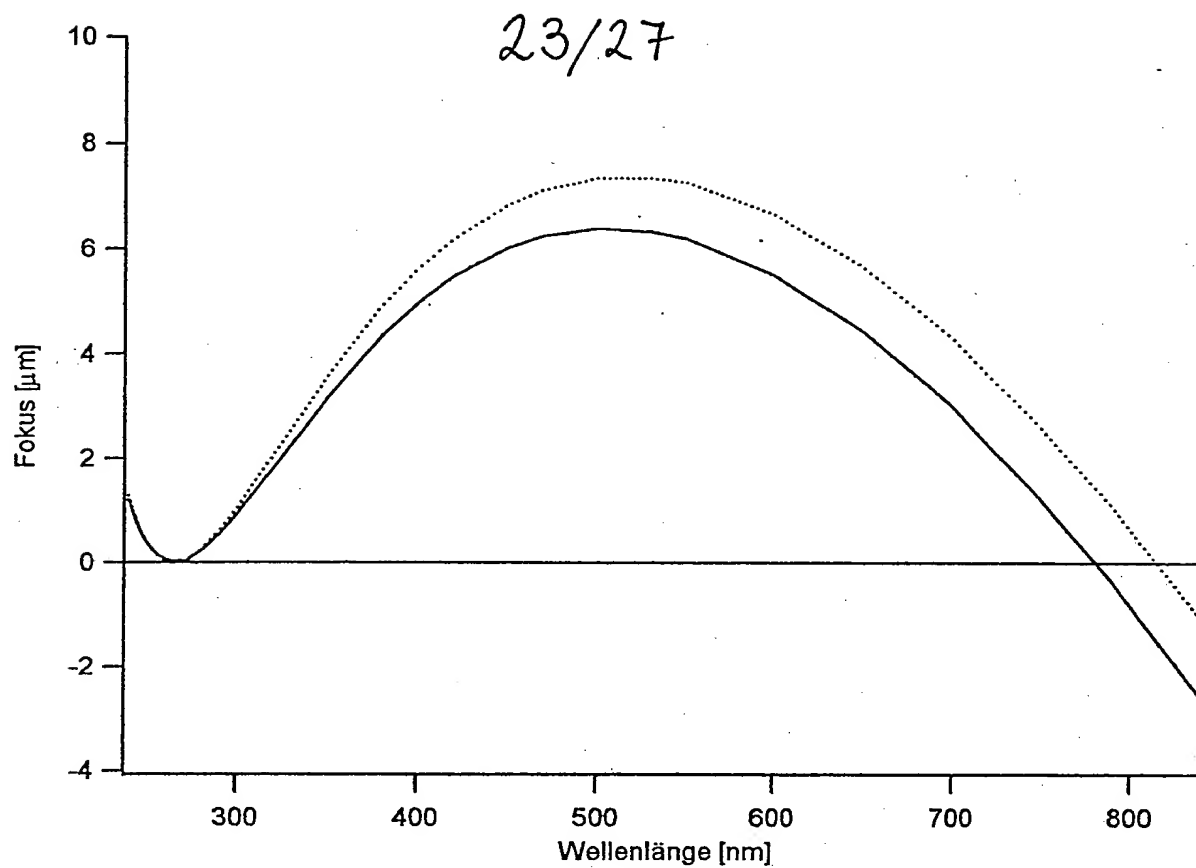


Fig. 23

24/27

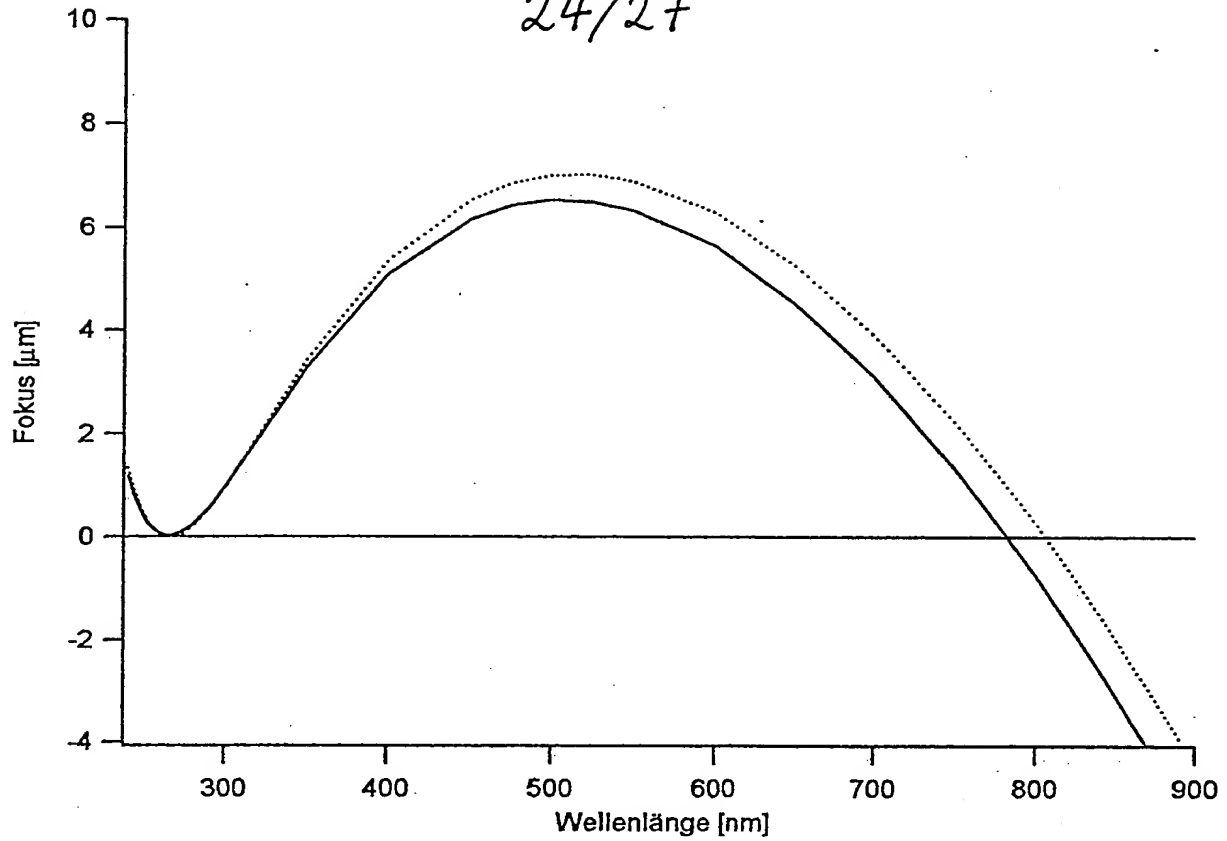


Fig. 24

25/27

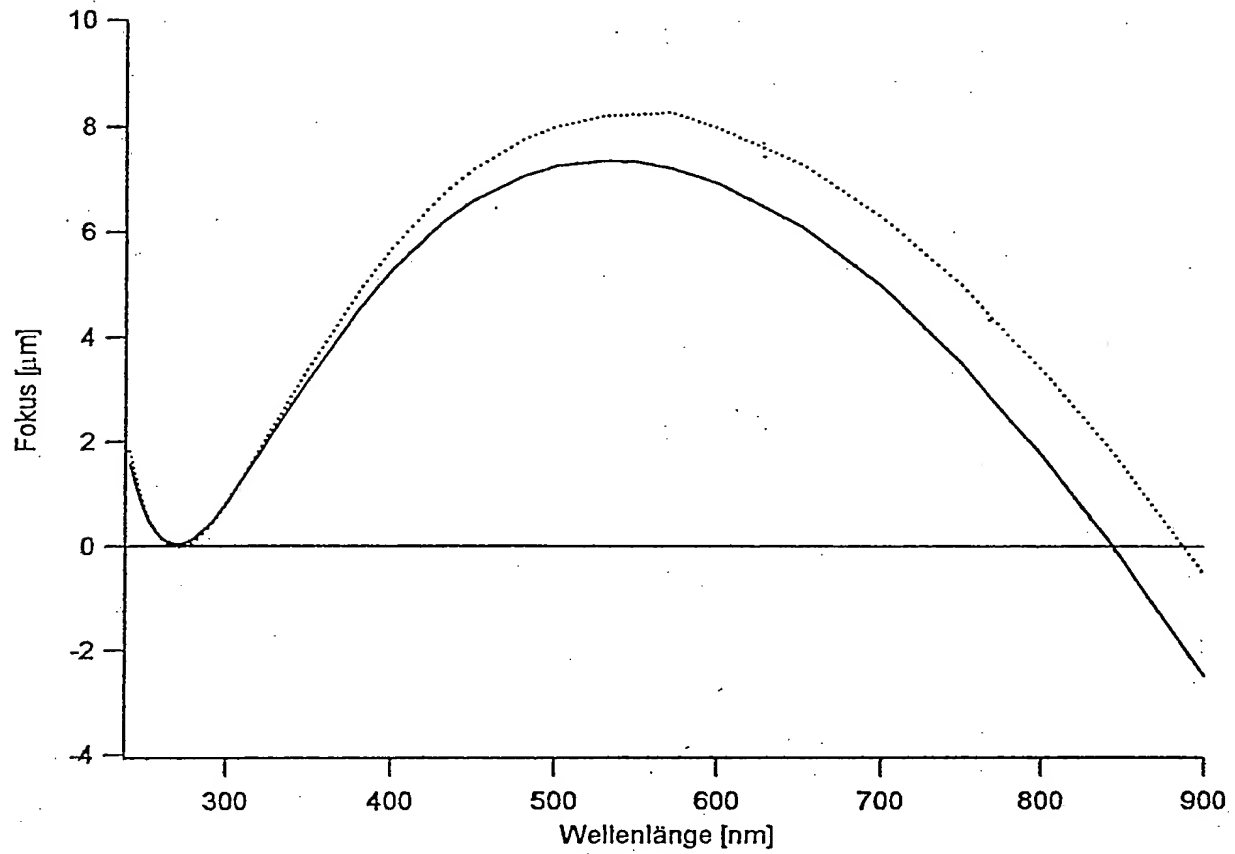


Fig.25

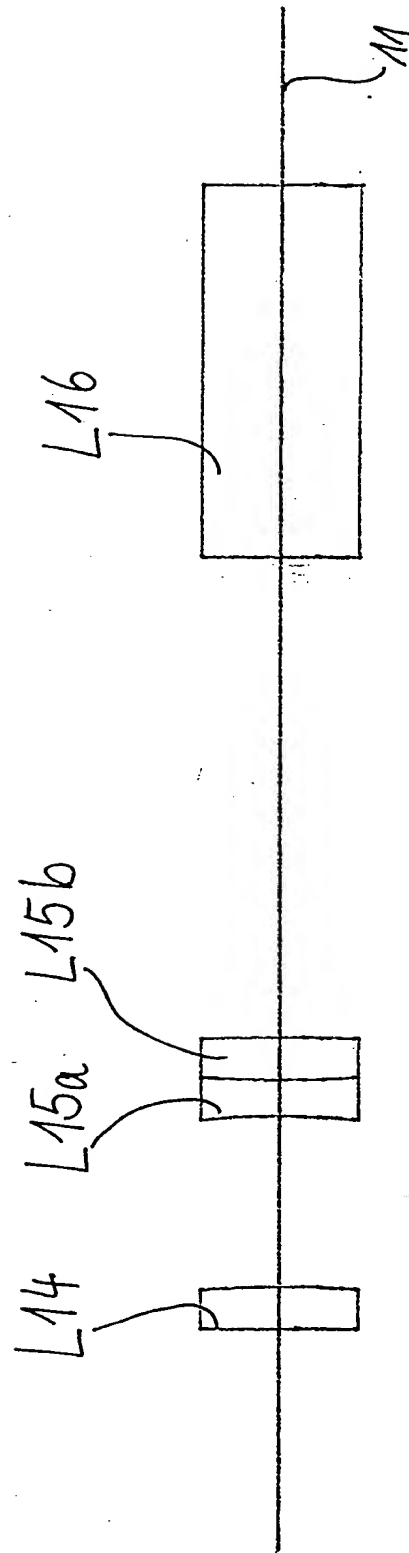


Fig. 26

27/27

Tabelle 9:

Tubuslinse mit Brennweite $f = 200 \text{ mm}$, kompensiert bezüglich $\lambda_{\text{DUV}} = 266 \text{ nm}$;

Fläche	Radius	Abstand	Glasname
1	211.0390	3.0000	Quarzglas
2	-54.8030	11.9840	
3	-41.6350	2.5100	CaF ₂
4	67.9580	3.0000	Quarzglas
5	-162.8050	33.6460	
6	Planfläche	26.0000	Quarzglas
7	Planfläche	119.0300	
8	Planfläche		

Fig. 27